ارائه‌ی مدل فازی برای تعیین حساسیت مناطق ساحلی به ریزش نفتی★ (مطالعه‌ی موردی سواحل استان مازندران)

«یادداشت پژوهشی»

فریدون وفایی[۱]   وحید هادی پور[۲]   ابوذر هادی پور[۳]   سید ابوالفضل موسوی[٤]

چکیده *نوار ساحلی دریای خزر خصوصاً سواحل استان مازندران، از نظر اقتصادی، توریستی، محیط‌زیستی و شیلاتی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. بنابراین تعیین حساسیت مناطق ساحلی شمال کشورمان به ریزش نفتی، ارائه‌ی روش‌هایی برای توسعه‌ی مدل‌ها، بومی‌سازی روش‌ها، مشخص کردن معیارهای حساسیت و اولویت‌بندی حساسیت، به‌منظور کنترل و پاکسازی دقیق و سریع در زمان ریزش‌های نفتی بسیار ضروری است. بدین منظور برای ایجاد مدل، پس از شناسایی محدوده‌ی خط خطر و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر، لایه‌های پردازش شده با استفاده روش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHPفازی) وزن‌دهی می‌شود و بر مبنای مدل‌های فازی، لایه‌ها در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق و نقشه کلی حساسیت تهیه می‌شود. نتایج حاصل از مدل فازی در این تحقیق نشان می‌دهد که اکثر مناطق ساحلی استان مازندران دارای حساسیت زیاد در هنگام ریزش‌های نفتی می‌باشند.*

واژه‌های کلیدی ریزش نفتی، حساسیت مناطق ساحلی، استان مازندران، دریای خزر، GIS، AHP، مدل فازی.

Presentation a Fuzzy Model to Determine Shoreline Sensitivity due to Oil Spill (Case Study- Mazandaran Coastal Area)

F. Vafaie   V. Hadipour   A. Hadipour   S.A. Mousavi

Abstract *The Caspian Sea shoreline especially Mazandaran coastal area is very important area because of its economic, environmental, and fishery parameters as its high length is always exposed to the negative effects of oil spill. So, determination of its sensitive coastal areas due to oil spills, presentation of some approaches to develop the models, localization the methods and determination of sensitive coastal criteria to oil spills is much necessary. For creating this model, after recognizing the hazard line and creating the objective layers, the processed layers are weighted using analytical hierarchy process (AHP) and Fuzzy AHP methods, then according the fuzzy model the layers are combined by using geographic information system (GIS) software and the final sensitivity maps are produced. The fuzzy results show that the most area of Mazandaran province has a high sensitivity during the oil spills.*

Keywords Oil Spill, Coastal Area Sensitivity, Mazandaran Province, Caspian Sea, GIS, AHP, Fuzzy Model

---

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۰/۱/۲۱ و تاریخ پذیرش آن ۹۱/۲/۳۱ می‌باشد.

(۱) نویسنده‌ی مسئول: دانشیار گروه عمران، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

(۲) کارشناس ارشد عمران– محیط زیست، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

(۳) کارشناس ارشد عمران– محیط زیست، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

(٤) کارشناس ارشد عمران– نقشه‌برداری، دانشکده‌ی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

مقدمه

ناحیه‌ی ساحلی، محل پیوند آب و خشکی و فصل مشترک دو اکوسیستم با ویژگی‌های مجزا از یکدیگر است که منطقه‌ای آسیب‌پذیر و آخرین پذیرنده‌ی آلاینده‌های خشکی و دریا می‌باشد. وجود نفت در دریا نه تنها محیط‌زیست آبی، بلکه سلامت انسان را نیز دچار لطمات جدی می‌نماید. مهم‌ترین اثر آلودگی نفت در سواحل شامل پوشاندن سنگ‌ها، گیاهان و جانداران با لایه‌ای از نفت می‌باشد. هم‌چنین بخش‌هایی از نفت که به‌وسیله‌ی هوا خوردن از لکه‌های نفتی جدا می‌شوند، در همه جا پخش می‌گردند و باعث از بین رفتن جاذبه‌های توریستی و درآمدهای اقتصادی می‌شوند [۱].

در زمینه‌ی تعیین حساسیت مناطق ساحلی به ریزش‌های نفتی با در نظر گرفتن تمامی معیارهای مؤثر و استفاده از GIS، تاکنون در کشورمان مطالعاتی صورت نگرفته است اما تحقیقات مشابهی صورت گرفته که در ادامه بیان می‌گردد. بذل‌راد و دانه‌کار (۱۳۸۸)، جهت برنامه‌ریزی مدیریت ساحلی، حساسیت زیست‌محیطی ناهمواری‌های ساحلی استان هرمزگان را نسبت به ریزش‌های نفتی مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق به ارتباط بین ناهمواری‌های ساحلی، جنس سواحل و موجودات زنده پرداخته شده است [۲]. در سال ۲۰۰٦ در تحقیقی توسط کای ریتز و ژین لیو ، قسمتی از سواحل شمال‌غربی کشور اسپانیا که در آن‌جا ریزش نفتی اتفاق افتاده بود مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS) شامل تلفیق مدل و روش‌های ارزیابی که در ارزیابی‌های مختلف به‌خصوص اثر بر زیستگاه‌ها و اقتصاد محلی، پیشنهاد شده است. در این مطالعه DSS قادر بود سیستم شبیه‌سازی ناگهانی ریزش نفتی (پیش‌بینی شده توسط جریان و باد) و داده‌های محیطی تولید شده توسط GIS را با یکدیگر ادغام و با استفاده از تکنیک ارزیابی چند معیاره، تأثیر بر روی معیارهای بیولوژیکی و اقتصادی را اولویت‌بندی کند [3]. در سال ۲۰۰۹ کاستاندئو و همکاران آسیب‌پذیری ناشی از ریزش‌های نفتی در سواحل کانتابرین (خلیج بیسکا در شمال اسپانیا) را براساس تلفیق شاخص‌های فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی مورد ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق پس از تقسیم نواحی ساحلی بر مبنای سواحل با جنس یکسان، براساس داده‌های فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی سه شاخص متوسط فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی برای هر بخش تعریف گردید و جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه‌ی ساحلی، مقدار هر کدام از این شاخص‌ها محاسبه شد. در نهایت نتایج به‌دست آمده در مرحله‌ی قبل، با سه روش مختلف (بدترین حالت، میانگین و تلفیق سه شاخص) همراه با امتیازات آسیب‌پذیری مبتنی بر نقشه‌های ESI، با یکدیگر مقایسه و دقیق‌ترین روش ارائه گردید [4]. در این تحقیق حساسیت مناطق ساحلی استان مازندران به ریزش‌های نفتی، از غرب استان مازندران (شهرستان رامسر) تا شرق استان مازندران (شهرستان به‌شهر) مورد بررسی قرار گرفته است. طول خط ساحلی استان مازندران براساس مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ حدود ٤۸۷.۱۵ کیلومتر می‌باشد.

روش انجام کار

تعیین خط خطر. این مرز به‌صورت خطی بر روی خشکی که آب دریا، در اثر شرایط طوفانی یعنی خیزآب ناشی از باد، خیزآب ناشی از موج، خیزآب ناشی از تغییرات فشار و بالاروی موج نسبت به تراز بالایی مد در سواحل جنوب کشور و تراز آب دریای خزر بر اثر تغییرات بلندمدت در سواحل شمال کشور دارد، در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق برای تعیین کد ارتفاعی خط خطر، بالاآمدگی آب در اثر هر یک از عوامل فوق محاسبه شده و کد ارتفاعی آن برای بیش از ۲۵۰ نقطه (بازه‌ی سیزده کیلومتری) نسبت به تراز متوسط آب دریا تعیین شده است.

تعیین و آماده‌سازی معیارهای مؤثر. به‌منظور ارزیابی حساسیت، در ابتدا معیارهای مؤثر برای تعیین حساسیت مناطق ساحلی به ریزش نفتی به‌همراه داده‌های مورد نیاز، از طریق مصاحبه با کارشناسان و

افراد متخصص و بررسی تجارب کشورهای دیگر تعیین می‌شود. به‌منظور حصول جواب‌های قابل اطمینان پس از اجرای آنالیزهای حساسیت، بایستی داده‌های جمع‌آوری شده، در نرم‌افزار به فرمت قابل استفاده با مقیاس و سیستم تصویر یکسان درآیند. پارامترهایی که برای تعیین حساسیت مناطق ساحلی دریای خزر به ریزش نفتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

۱- معیارهای منابع انسانی: مکآن‌های توریستی، بنادر و شهرهای ساحلی.

۲- معیارهای منابع بیولوژیکی: مناطق حساس (حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد)

۳- معیارهای هیدرودینامیک ساحل: موج (ساحل پرانرژی، ساحل کم‌انرژی).

٤- معیارهای ژئومورفولوژی ساحل: ساحل ماسه‌ای، دشت‌های سیلابی.

در این تحقیق اطلاعات مربوط به معیار فیزیک ساحل (امواج و ژئومورفولوژی) و منابع اقتصادی- اجتماعی از پروژه‌ی ICZM سازمان بنادر و دریانوردی و داده‌های بیولوژیک از پروژه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زیست‌محیطی سواحل استان مازندران جمع‌آوری گردید [٦ و٥].

تعیین اوزان معیارها و زیرمعیارها. یکی از مهم‌ترین و مشکل‌ترین مراحل تصمیم‌گیری، مرحله‌ی وزن‌دهی به معیارها می‌باشد که می‌تواند عدم قطعیت قابل‌توجهی در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد نماید. وزن داده شده به صورت یک عدد در ارزیابی دخالت داده می‌شود، که این عدد بیانگر اهمیت نسبی آن معیار نسبت به سایر معیارها در شرایط خاص است [7].

روش‌های وزن‌دهی مختلفی برای ارزیابی اهمیت معیارها برای تصمیم‌گیران وجود دارد که تفاوت این روش‌ها در اصول تئوری، دقت، سهولت کاربرد و قابل فهم بودن آن‌ها برای تصمیم‌گیران است. از مهم‌ترین روش‌های وزن‌دهی می‌توان به روش‌های رتبه‌ای، نسبتی و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اشاره کرد. در ادامه روش AHP و روش توسعه‌یافته‌ی فازی آن به نام AHP فازی که در این تحقیق برای تعیین وزن لایه‌های اطلاعات مکانی در GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد، تشریح می‌گردد.

روش AHP توسط محققی به نام ساعتی در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. در این روش برای محاسبه‌ی وزن معیارها از روش مقایسه‌ی زوجی استفاده می‌شود. ورودی روش AHP ماتریس مقایسه‌ی زوجی است که درایه‌های آن بیان‌کننده‌ی میزان اهمیت نسبی معیارها می‌باشد. پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌ی زوجی، نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه‌ی تعیین و در صورت قابل قبول بودن قضاوت‌ها، وزن هر کدام از معیارها به‌دست می‌آید [7, 8].

برای محاسبه‌ی وزن، ابتدا ماتریس مقایسه تشکیل و پارامترها به‌صورت دوتایی با هم مقایسه و اهمیت نسبی آن‌ها سنجیده می‌شود. به‌منظور محاسبه‌ی وزن نسبی دو معیار نسبت به همدیگر، اهمیت نسبی آن‌ها به‌صورت عباراتی نظیر کاملاً مهم‌تر، اهمیت خیلی قوی و... بیان می‌شود و براساس نظرات کارشناسان هر یک از این عبارات به امتیازی بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌گردد که به آن‌ها وزن نسبی گفته می‌شود. سپس، اعداد مقایسه‌ی زوجی حاصل در قالب ماتریسی با عنوان ماتریس مقایسه آورده می‌شود. در این ماتریس درایه‌ی a_{ij} نتیجه‌ی مقایسه‌ی معیار iام با معیارjام می‌باشد. بعد از آماده شدن ماتریس مقایسه و قابل قبول بودن سطح سازگاری آن، وزن پارامترها از روش بردار ویژه محاسبه می‌شود [9,10]. معیار اصلی برای پذیرفتن مقایسه‌های زوجی این است که مقایسه‌ها با هم سازگار باشند، بدین منظور باید نشان دهیم که:

$$W.w=\begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda.w \qquad (1)$$

در این رابطه λ یک مقدار ویژه، W ماتریس مقایسه‌ی زوجی و w یک بردار ویژه‌ی متناظر با مقدار ویژه‌ی λ می‌باشد که یک ماتریس $n*1$ است. ساعتی شاخص ناسازگاری (II)، را به‌صورت زیر تعریف نمود:

$$II = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (۲)$$

در این رابطه، λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه‌ی ماتریس مقایسه و n تعداد معیارها می‌باشد. مقادیر شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده باشند شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) نام‌گذاری کرده‌اند. برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (II) بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (IIR) هم بعد آن، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد، که آن را نرخ ناسازگاری (IR) می‌نامیم. نزدیک‌تر بودن بیشتر II و به تبع آن IR به صفر، نشان‌دهنده‌ی سطح بالاتری از سازگاری در ماتریس مقایسه است. چنان‌چه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل‌قبول است، وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر نمود. در این تحقیق به‌منظور تشکیل ماتریس مقایسه و محاسبه‌ی مقادیر نرخ ناسازگاری و اوزان نسبی و نهایی معیارها و زیرمعیارها از نرم‌افزار Expert Choice استفاده شده است. این نرم‌افزار مورد حمایت پروفسور ساعتی، بنیان‌گذار روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی نیز می‌باشد.

منطق فازی توسط پروفسور لطفی‌زاده، استاد ایرانی‌الاصل دانشگاه برکلی، در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای به نام مجموعه‌های فازی معرفی گردید. در این مقاله مجموعه‌های فازی به‌عنوان حدود و مرزهای غیردقیق معرفی شده بود. در سال ۱۹۷۴ پروفسور لطفی‌زاده عبارت منطق فازی را معرفی کرد. منطق فازی یک تئوری چند ارزشی بود که در آن به‌جای عبارت‌های آری، خیر یا درست، غلط، که در مجموعه‌های معمولی به‌کار می‌رود، می‌توان از مقادیر بینابینی مانند کم، متوسط، زیاد و... استفاده کرد [11]. ناتوانی روش‌های تصمیم‌گیری معمولی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت، راه را برای استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری فازی باز می‌کند. یکی از نواقص روش AHP، ناتوانی آن در لحاظ کردن عدم قطعیت ارجحیت و قضاوت‌ها در ماتریس مقایسه‌ی زوجی معیارها می‌باشد. این نقص روش AHP با استفاده از منطق فازی در روش AHP فازی برطرف شده است و به‌جای در نظر گرفتن یک عدد صریح در مقایسه‌ی زوجی، محدوده‌ای از مقادیر برای لحاظ کردن عدم قطعیت در نظرات تصمیم‌گیرندگان لحاظ می‌شود. در این روش تصمیم‌گیرندگان می‌توانند مقادیری که میزان اطمینان آن‌ها را منعکس می‌کنند انتخاب کنند و وضعیت تصمیم‌گیری آن‌ها از دیدگاه خوش‌بینانه، بدبینانه و متعادل پوشش داده می‌شود [11,12].

در روش AHP فازی، از اعداد فازی مثلثی برای فازی کردن مقادیر صریح ماتریس مقایسه‌ی زوجی استفاده می‌شود. برای این منظور از مفهوم تحلیل توسعه‌ی فازی استفاده می‌شود، که در آن اهمیت معیارها و اولویت گزینه‌ها با حل کردن ماتریس مقایسه‌ی زوجی فازی شده به‌دست می‌آید. با استفاده از مفهوم برش α، ماتریس تصمیم‌گیری فازی به ماتریس دارای بازه‌ی مقادیر عدم قطعیت تبدیل می‌شود و با استفاده از شاخص بهینه (λ)، مقادیر صریح به‌دست می‌آید [11,12].

یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی را مانند A که مقادیر آن از $\frac{1}{9}$ تا 9 متغیر است، در نظر بگیرید. با استفاده از اعداد فازی مثلثی $f=(l,m,u)$، ماتریس اولیه دارای مقادیر صریح A، مطابق با جدول (۱) تبدیل به مقادیر فازی می‌شود. مقادیر حد پایین (l) و حد بالا (u) محدوده‌ی عدم قطعیت ارجحیت‌های ارائه شده توسط تصمیم‌گیرندگان و کارشناسان را نشان می‌دهند.

جدول ۱ تبدیل مقادیر صریح به مقادیر فازی [11,12]

مقدار فازی PCM	مقدار صریح PCM	مقدار فازی PCM	مقدار صریح PCM
(۱،۱،۱)	۱	(۱،۱،۱)	۱
(۱/٤ ،۱/۲ ،۱/۱)	۱/۲	(۱،۲،٤)	۲
(۱/٥ ،۱/۳ ،۱/۱)	۱/۳	(۱،۳،٥)	۳
(۱/٦ ،۱/٤ ،۱/۲)	۱/٤	(۲،٤،٦)	٤
(۱/۷ ،۱/٥ ،۱/۳)	۱/٥	(۳،٥،۷)	٥
(۱/۸ ،۱/٦ ،۱/٤)	۱/٦	(٤،٦،۸)	٦
(۱/۹ ،۱/۷ ،۱/٥)	۱/۷	(٥،۷،۹)	۷
(۱/۱۰ ،۱/۸ ،۱/٦)	۱/۸	(٦،۸،۱۰)	۸
(۱/۱۱ ،۱/۹ ،۱/۷)	۱/۹	(۷،۹،۱۱)	۹

با استفاده از تحلیل توسعه‌ی فازی بر روی ماتریس بالا، ماتریس تصمیم فازی به‌دست می‌آید. برای به‌دست آوردن ماتریس تصمیم فازی (x) و وزن فازی (w) با استفاده از تحلیل توسعه‌ی فازی، فرمول زیر به‌کار می‌رود:

$$x_i \text{ or } w_j = \frac{\sum_{j=1}^{k} \bar{a}_j}{\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k} \bar{a}_{ij}} \quad (۳)$$

با ضرب ماتریس تصمیم‌گیری و ماتریس وزن، ماتریس تصمیم‌گیری وزن‌دار (p) مطابق زیر حاصل می‌شود.

$$P = X_i * W = \begin{bmatrix} (w_1 x_{11}\ w_m x_{11m} w_m x_{11n}) \\ (w_m x_{21}\ w_m x_{21m} w_m x_{21n}) \\ \cdots\cdots \\ \cdots\cdots \\ \cdots\cdots \\ (w_m x_{i1}\ w_m x_{ijm}\ w_m x_{ijn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{1l}\ P_{1m} P_{1u} \\ P_{2l}\ P_{2m} P_{2u} \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ P_{il}\ \ P_{im} P_{iu} \end{bmatrix} \quad (٤)$$

در این مرحله با محدوده‌های غیرقطعی مقادیر مواجه هستیم و بنابراین از تصمیم‌گیرندگان در مورد میزان اطمینان آن‌ها در مورد قضاوتشان پرسیده می‌شود. برش α (بین ۰ تا ۱) میزان اطمینان کارشناس را در مورد قضاوت خود نشان می‌دهد. اگر مقدار برش α نزدیک یک باشد، نشان می‌دهد که کارشناسان اطمینان خیلی زیادی در مورد قضاوت خود داشته است. برش α برابر با صفر نشان دهنده عدم اطمینان زیاد می‌باشد. پس از اعمال میزان اطمینان تصمیم‌گیرندگان نسبت به تصمیم خود و استفاده از عملیات برش α ماتریس P_α به‌دست می‌آید:

$$P_a = \begin{bmatrix} [P_{1l\alpha}, P_{1r\alpha}] \\ [P_{2l\alpha}, P_{2r\alpha}] \\ \cdots\cdots \\ \cdots\cdots \\ \cdots\cdots \\ [P_{il\alpha}, P_{ir\alpha}] \end{bmatrix} \quad (٥)$$

در ماتریس فوق، پارامترهای r,l به‌ترتیب بیان‌کننده‌ی مقادیر چپ و راست مجموعه‌ی بازه می‌باشند. در مرحله‌ی بعد با به‌کارگیری شاخص بهینه‌ی (λ)، ماتریس مقادیر صریح به‌دست می‌آید. شاخص بهینه‌ی λ در مجموعه بازه‌ی مقادیر، مطابق با زیر اعمال شده و منجر به تولید ماتریس C_λ با مقادیر صریح می‌شود [11,12].

$$c_\lambda = \lambda * p_{r\alpha} + (1-\lambda) * p_{l\alpha} \quad (٦)$$

مقادیر شاخص بهینه (λ) در بازه‌ی صفر تا یک متغیر است، که در بدبینانه‌ترین حالت مقدار λ برابر صفر و در خوش‌بینانه‌ترین دیدگاه، مقدار λ برابر یک در نظر گرفته می‌شود. در انتها با توجه به این‌که مقادیر ماتریس مقایسه دارای مقیاس‌های یکسانی نیستند، بنابراین مقادیر صریح به دست آمده با استفاده از رابطه‌ی (۷) نرمال می‌شوند. لازم به ذکر است که برای مقایسه‌ی معیارها نیاز است که همگی دارای مقیاس یکسانی باشند [13].

$$C_{i\lambda}=\frac{c_{i\lambda}}{\sum c_{i\lambda}} \quad (۷)$$

با توجه به قابلیت‌های محیط برنامه نویسی Matlab در محاسبات ماتریسی، برای محاسبات مربـوط بـه روش AHP فازی، در این محیط برنامه نویسی شده است.

اجرای مدل و نتایج

در این مرحله با توجه به معیارهای موجـود و ارزیـابی همه‌جانبه‌ی مدل‌ها، نحوه‌ی اجرای آن‌ها و نیز دقت هر یک، مدل مناسب برای تلفیق لایه‌ها انتخـاب مـی‌گـردد. مدل‌های تلفیق با استفاده از توابع و عملگرهای مختلـف ریاضـی و اعمـال آن‌هـا بـر روی ارزش هـر پیکسـل در لایه‌هـای مختلـف، ایـن ارزش‌هـا را بـا یکـدیگر تلفیـق می‌کنند و به این ترتیب ارزش نهـایی هـر پیکسـل بـا در نظر گرفتن تمام لایه‌های تصمیم‌گیری، محاسبه می‌شود.

برای به‌دست آوردن وزن معیارها بـرای ورود بـه مدل فازی از وزن‌دهـی بـا روش AHP فـازی اسـتفاده شده است و مقادیر وزن بـا توجـه بـه میـزان اطمینـان تصمیم‌گیران در مورد قضاوت خـود (مقـادیر مختلـف α) محاسـبه شـده اسـت. محاسـبه‌ی وزن بـا مقـدار $\alpha=۰/۶$ بیشترین تطابق و هم‌خوانی را با نتایج داشت و بنابراین با اسـتفاده از مقـادیر وزن حاصـل از $\alpha=۰/۶$، مدل‌های فازی اجرا شد. با استفاده از عملگرهای فازی، لایه‌ها با یکدیگر تلفیـق مـی‌شـود و حساسـیت نهـایی پیکسل‌ها در نقشه خروجی به‌دست می‌آیـد. بـه منظـور اجرای مدل فازی، کلاس‌های حساسیت معیارها به‌جای ارزش‌دهی با اعداد ۱ تا ٤، بر تعـداد کـلاس حساسـیت که در این تحقیق ٤ کلاس حساسیت کم، متوسط، زیـاد و خیلی زیاد می‌باشد تقسیم می‌شود و بـه هـر کـدام از کلاس‌هـای حساسـیت براسـاس اهمیـت و ارجحیـت، ارزشی بین ۰ تا ۱ تعلق می‌گیرد. در ادامه، تلفیق نقشه‌ها با عملگرهای مختلـف فـازی شـامل اشـتراک، اجتمـاع، ضرب، جمع و گامای فازی را بررسی می‌کنیم.

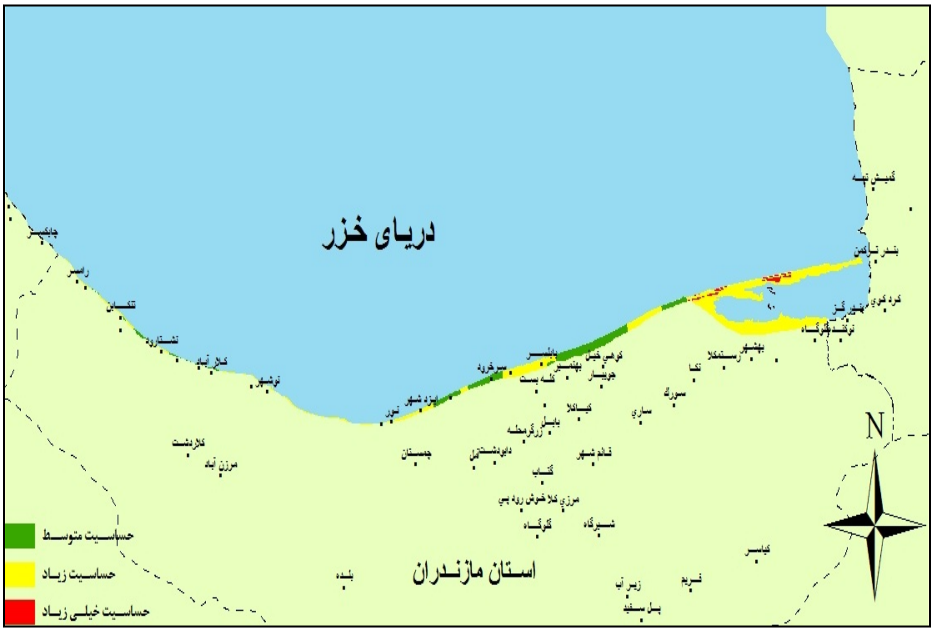
عملگر اشتراک فـازی در یـک موقعیـت مشـخص، حداقل درجه‌ی عضویت واحدهای پیکسلی در نقشه‌های مورد تلفیق را برای نقشه‌ی نهایی در نظر مـی‌گیـرد، کـه منجر به یک نتیجه بسـیار محافظـه‌کارانـه مـی‌گـردد و از وزن‌های بالای پیکسل‌ها کاملاً چشم‌پوشی می‌شود.

توسـط عملگـر اجتمـاع فـازی در هـر موقعیـت، حداکثر مقدار عضویت پیکسل در تمام نقشه‌های مورد تلفیق، به‌عنوان مقدار عضویت در نقشـه‌ی نهـایی وارد می‌شود. در نتیجه به‌دلیل صرف‌نظر نمودن از وزن‌هـای پایین پیکسـل‌هـا، یـک خروجـی بسـیار خـوش‌بینانـه به‌دست می‌آید و بنابراین ایـن عملگرهـا در عـملیات تعیین درجـه‌ی حساسـیت منـاطق سـاحلی نسـبت بـه ریزش‌های نفتی، دارای دقت پایینی می‌باشند.

عملگر ضرب فازی، درجه‌ی عضویت‌هـای یـک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کنـد. در اجرای مدل با عملگر ضرب فازی، مکان‌های کمـی در کـلاس حساسـیت زیـاد قـرار مـی‌گیرنـد و اغلـب منطقه‌ی مورد مطالعه با حساسـیت کـم تشـخیص داده شـده اسـت. در جمـع فـازی مقـدار عضـویت نهـایی پیکسل‌ها در نقشـه‌ی خروجـی بـزرگ مـی‌شـود و در صورت زیاد بودن ورودی‌ها به سمت یک میل می‌کند. در عملگـر جمـع فـازی منـاطق زیـادی در کـلاس حساسیت کم قرار می‌گیرند.

برای تعدیل نتایج مربوط به ضرب و جمع فـازی از عملگر گامای فازی که حدفاصل بین جمع و ضرب عمل می‌کند استفاده شده است. عملگر گامـای فـازی، حالت کلی از عملگرهای ضرب و جمع فـازی اسـت، که در آن فاکتورهای تعیین حساسـیت منـاطق سـاحلی به ریزش‌های نفتی طبق رابطه‌ی (۸) تلفیق می‌شوند. در این تحقیق، عملیات تلفیق لایه‌ها با اسـتفاده از مقـادیر $\gamma=۰/۱$ تا $\gamma=۰/۹$ انجام شده است. در مقادیر کم گاما، مناطق کمی در محدوده‌ی حساسیت زیاد و در مقـادیر بالای گاما، مناطق زیادی در محدوده‌ی حساسـیت کـم قرار می‌گیرند. براساس نتایج حاصل، $\gamma=۰/۷$ به‌عنـوان مقدار مطلوب در این مدل شناخته شد. نقشه حاصل از تلفیق معیارها با $\gamma=۰/۷$ در شکل (۱) ارائه شده است.

$$\mu_{gamma_operation}(x)=(\mu_{sum}(x))^{\gamma}\times(\mu_{product}(x))^{1-\gamma}$$
$$0\le\gamma\le1 \quad (۸)$$



شکل ۱ نقشه‌ی کلی حساسیت نوار ساحلی استان مازندران به ریزش‌های نفتی

پس از اجرای مدل‌های تلفیق، نتایج در قالب نقشه‌های خروجی حساسیت زیست‌محیطی هر ناحیه با مقدار آن نمایش داده می‌شود و در اختیار تصمیم گیرندگان قرار می‌گیرد. شکل (۱) نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها توسط نرم‌افزار GIS را به‌همراه حساسیت نسبی آن‌ها در محدوده‌ی استان مازندران نشان می‌دهد. در نتایج به‌دست آمده، شاخص حساسیت کمتر از ۰/۲۵ معرف حساسیت نسبی کم، شاخص بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ نشان‌دهنده‌ی حساسیت متوسط، شاخص حساسیت بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ معرف حساسیت زیاد و شاخص حساسیت بالاتر از ۰/۷۵ نشان‌دهنده‌ی حساسیت خیلی زیاد نسبت به ریزش نفتی می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

۱- یکی از نتایج این تحقیق، شناسایی معیارهای مؤثر بر حساسیت مناطق ساحلی به ریزش‌های نفتی و هم‌چنین اهمیت و وزن هر کدام از این معیارها با توجه به شرایط کشورمان می‌باشد.

۲- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پارامترهای منابع انسانی، پارامترهای منابع بیولوژیکی، پارامترهای مربوط به مورفولوژی ساحل و هیدرودینامیک به‌ترتیب با امتیازات ۰/۴۵، ۰/۲۶، ۰/۲و ۰/۰۹ بیشترین وزن و اهمیت را در هنگام ریزش نفتی دارا هستند و در صورت بروز ریزش نفتی در سواحل استان مازندران به‌ترتیب بیشترین آسیب‌پذیری را دارا می‌باشند که بایستی با مدیریت صحیح و به‌موقع، منابع انسانی و بیولوژیکی حفظ و پاک‌سازی گردند.

۳- وزن‌دهی با روش AHP، دقت و انعطاف بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد و نقص آن در لحاظ نکردن عدم قطعیت قضاوت کارشناسان، در مدل توسعه‌یافته‌ی آن با به‌کارگیری منطق فازی برطرف می‌شود.

۴- نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌ها با استفاده از عملگرهای فازی نشان می‌دهد که مدل‌های اجتماع و اشتراک فازی، به‌دلیل این‌که در نقشه‌ی خروجی تنها مقادیر یک فاکتور را دخالت می‌دهند، نمی‌توانند روش‌های مناسبی برای تعیین حساسیت

مناطق ساحلی به ریزش‌های نفتی باشند و نتایج به‌دست آمده از مدل‌های جمع، ضرب و گامای فازی به‌مراتب مطلوب‌تر از این دو مدل هستند.

۵- بهترین مدل تلفیق لایه‌ها، استفاده از عملگر گامای فازی با مقدار مناسب می‌باشد. البته در مقادیر کم گاما، مناطق کمی دارای شاخص حساسیت نسبی کم و در مقادیر بالای گاما، مناطق زیادی در محدوده‌ی شاخص حساسیت نسبی کم قرار می‌گیرند.

٦- نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطب است که ساحل شهرستآن‌های نکا، جویبار و بخش‌هایی از شهرستآن‌های محمودآباد، تنکابن و رامسر دارای حساسیت متوسط در هنگام ریزش‌های ناگهانی نفت می‌باشند، هم‌چنین قسمت‌هایی از سواحل شرقی استان (خلیج گرگان و میان‌کاله) دارای حساسیت خیلی زیاد و بقیه‌ی نقاط دارای حساسیت زیاد می‌باشند.

۷- پیشنهاد می‌شود قابلیت‌های تکنیک‌های دیگر مانند الگوریتم ژنتیک، شبکۀ عصبی و الگوریتم مورچه‌ها در تلفیق پارامترها و انتخاب گزینۀ برتر مورد بررسی قرار گیرد.

۸- پیشنهاد می‌شود روش‌های دیگر وزن‌دهی مانند TOPSIS، ANP و OWA و یا ترکیب و توسعۀ این روش‌ها با منطق فازی در وزن‌دهی پارامترها مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

۱. ناصر هراتی، سید امیر، "بررسی مکانیزم پخش آلودگی نفتی با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۳.

۲. دانه‌کار، ا .و نیکو بذل راد، ا.، " حساسیت زیست‌محیطی ناهمواری‌های ساحلی استان هرمزگان "، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست، تهران، (۱۳۸۸).

3. Wirtz, K. W., & Liu, X. "Integrating economy, ecology and uncertainty in an oil-spill DSS: The Prestige accident in Spain, 2002", Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 70, pp. 525-532, (2006).

4. Castanedo, S., Juanes, J. A., Medina, R., Puente, A., Fernandez, F., Olabarrieta, M., & Pombo, C. "Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain)", *Journal of environmental management*, Vol. 91, pp.149-159, (2009).

۵. "طرح مدیریت یکپارچه‌ی مناطق ساحلی کشور: مطالعات مدیریت نوار ساحلی (SMP)"، سازمان بنادر و دریانوردی، (۱۳۸۵).

٦. دانه کار، ا.، "پروژه‌ی پهنه‌بندی حساسیت زیست‌محیطی سواحل استان مازندران"، مدیر کل دفتر محیط زیست‌دریایی سازمان محیط‌زیست، ایران، (۱۳۸٤).

7. Malczewski , J.,"GIS and Multi Criteria Decision Analysis", John Wiley & Sons INC, (1999).

8. Hill, M. J., Braaten, R., Veitch, S. M., Lees, B. G., and Sharma, S., "Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis", Environmental Modeling & Software, Vol. 20, pp. 955-976, (2005).

9. Saaty, T. L., "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European journal of operational research*, Vol. 48, pp. 9-26, (1990).

10. Marinoni, O., "Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS", Computers & Geosciences, Vol. 30, pp. 637-646, (2004).
11. Deng, H., "Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison", *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 21, pp. 215-231, (1999).
12. Jie, L. H., Meng, M. C., and Cheong, C. W. "Web based fuzzy multicriteria decision making tool", *International Journal of the computer, the Internet and management*, Vol. 14(2), pp. 1-14, (2006).